Journal of Agricultural Economics and Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 253-269

Determining the Optimal Cultivation Pattern and Energy Consumption Portfolio Required for Irrigation Water Pumping (Case Study: Arable Lands in North Iran)

Kh. Abdi Rokni[1], S. Shirzadi Laskookalayeh[2*], H. Amirnejad[3]

Received: 30-07-2022
Revised: 16-09-2022
Accepted: 10-01-2023
Available Online: 10-01-2023

How to cite this article:
Abdi Rokni, KH., Shirzadi Laskookalayeh, S., & Amirnejad, H. (2023). Determining the optimal cultivation pattern and energy consumption portfolio required for irrigation water pumping (Case study: arable lands in north Iran). *Journal of Agricultural Economics & Development, 37*(3), 253-269. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jead.2023.77437.1145

Introduction

The growing importance of energy resources in the formation and growth of economic processes, as well as the need to exploit these resources based on environmental considerations and sustainable economic development, the issue of energy saving as an important issue in all economic infrastructures, including industry. Global warming, declining crop yields, climate change and acid rain are the result of fossil fuel consumption. Hence, in recent years, there has been a growing global emphasis on renewable energy across both developed and developing nations. The primary objective is to decrease reliance on conventional energy sources, mitigate environmental pollution, and attain sustainable energy practices.

Materials and Ways

In the present study, a multi-objective mathematical planning model was designed, in which the optimal crop cultivation model in the southern grove area of Babol city, taking into account the maximum profit from the sale of crops, relying on expanding the use of renewable energy sources in the supply basket Irrigation water and reduction of fossil energy consumption used in irrigation water supply were determined. The objective functions of the study are in the form of two objectives: profit maximization and minimization of greenhouse gas emissions. The amount of profit considered in the present study is equal to the difference between income from crop production and total costs, including irrigation, planting and harvesting costs, seed costs, fertilizers and pesticides, and labor costs. The greenhouse gases considered in this study encompass CO_2, N_2O, and CH_4, with the objective of minimizing their emissions for the determination of an optimal crop pattern. The study endeavors to resolve the proposed nonlinear multi-objective pattern utilizing the constraint epsilon method. Subsequently, employing the energy link indexes (E), the optimal solution is identified among the proposed alternatives through the TOPSIS multi-criteria decision model. The statistical population for this investigation comprises farmers in the southern forest area of Babol city. The analysis of results has been conducted using Matlab, Lingo, and Excel software.

Results and Discussion

In this study, a multi-objective model with objective functions of profit maximization and minimization of greenhouse gas emissions subject to energy, energy flow, water, fertilizer, and capital and land constraints using the method the constraint is resolved and eventually the study decision variables are obtained. In terms of recyclable energy, the model suggests that four types of Tarom rice, Shiroodi rice, soybean, and corn be grown

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Asistant Professor and Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jead.2023.77437.1145

with 0.40, 0.34, 0.14 and 0.12 ha / ha, respectively. As can be seen, in accordance with the outputs of the optimal model in terms of renewable energy, most of the cultivated land is allocated to Tarom and Shiroodi rice. The total amount of energy required in the optimal model in terms of renewable energy was 2518 kWh, of which fossil energy is 79% and solar energy is 21%. According to the calculations made in Equation 3, to provide 21% (518 kWh) of solar electricity required by the irrigation system in order to irrigate one hectare of the proposed model of the optimal model in the study area, a solar panel with a capacity of 0.22 kW will be required. The results of the model show that in terms of renewable energy, with the implementation of the proposed model, the profit of farmers in the region per hectare increases from 14776.21 to 14778.18 million rials compared to the situation of non-renewable energy in the entire growing season. In other words, in the current situation, people cultivate crops regardless of energy consumption and production costs (traditional method of rice production by local farmers), while by choosing the right model, the farmer's economic benefits can be increased by 0.013%. At the same time, it saved a significant amount of fossil energy consumption.The minimum emission target of the model in terms of renewable energy states that for the cultivation of 0.40 hectares of Tarom rice, 0.34 hectares of Shiroodi, 0.14 hectares of soybean and 0.12 hectares of corn, at the rate of 2836 kg equivalent to CO_2 pollution Fertilizers, pesticides and fossil fuel consumption will be released, which is 9% less than the current situation where only fossil fuels are used to irrigate crops.

Conclusion

In the present study, the interests of farmers were considered by considering the maximum profit from the sale of agricultural products by relying on the use of renewable energy sources in the energy basket of the agricultural sector (by reducing the fuel consumption of fossil energy sources used) in determining the cultivation pattern. Optimally calculated and compared with current conditions. The results show that the optimal model in terms of renewable energy, shows a more appropriate achievement of goals than in the absence of renewable energy. To this end, it is suggested that agricultural policy makers, by promoting the use of solar energy in irrigation and the use of this large capacity in the country, justify farmers to the potential benefits of solar energy (in the agricultural sector) and its widespread use, reduce current agricultural subsidies in the energy sector. Fossilization and subsidizing solar energy, encouraging the private sector to invest in solar projects can help power irrigation projects.

Keywords: Fossil energy, Greenhouse gas emissions, Optimal cultivation pattern, Solar energy

Journal of Agricultural Economics and Development
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۲، ص ۲٦۹-۲٥۳

تعیین الگوی کشت و سبد بهینه مصرف انرژی مورد نیاز در پمپاژ آب آبیاری (مطالعه موردی: اراضی شمال ایران)

خدیجه عبدی رکنی[۱]- سمیه شیرزادی لسکوکلایه[۲*]- حمید امیرنژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

چکیده

محدود بودن منابع انرژی فسیلی و مشکلات ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از آن، ضرورت مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را بر همگان روشن ساخته است. بر همین اساس در تحقیق حاضر سعی شده است، با استفاده از مدل چندهدفه، الگوی کشت بهینه زراعی و سبد بهینه مصرف انرژی در اراضی کشاورزی به‌گونه‌ای که منافع حاصل از تولید محصولات زراعی کشاورزان با تکیه بر استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و کاهش مصرف سوخت منابع انرژی فسیلی مورد استفاده در سیستم آبیاری، تعیین شود. جامعه آماری پژوهش، زارعین منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل می‌باشند. داده‌های مربوطه از طریق اداره جهاد کشاورزی منطقه و سازمان ساتبا، در سال ۱۴۰۰ به صورت خام جمع‌آوری شد. نتایج مطالعه، در وضعیت ترکیب انرژی تجدیدپذیر با انرژی فسیلی در پمپاژ آب آبیاری، کشت محصولات شالی طارم، شالی شیرودی، سویا، و ذرت به‌ترتیب با سطح کشت ۰/۴۴، ۰/۳۰، ۰/۱۶ و ۰/۱۰ در هکتار را به‌عنوان مقادیر بهینه پیشنهاد می‌کند. با اجرای الگوی پیشنهادی، سود زارعین منطقه به‌ازای هر هکتار از ۵۳۶/۴۹ به ۵۳۸/۴۱ میلیون ریال نسبت به وضعیت عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر در الگوی جاری، افزایش می‌یابد. سبد بهینه مصرف انرژی به‌صورت ترکیب به‌کارگیری انرژی خورشیدی و انرژی فسیلی، ۲۶۹۰ کیلووات ساعت به‌دست آمد، که از این مقدار، ۸۲ درصد به انرژی فسیلی و ۱۸ درصد به انرژی خورشیدی اختصاص دارد. همچنین، براساس نتایج، با انتخاب سیستم پمپ ترکیبی فسیلی-خورشیدی و همچنین کاهش سطح کشت شیرودی و افزایش سطح طارم، سویا و ذرت نسبت به الگوی فعلی منطقه در شرایط عدم استفاده از انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان منبع سوخت آبیاری، ۱۸ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای صرفه‌جویی خواهد شد. لذا، تشویق و حمایت دولت از کشاورزان در زمینه استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین سوخت کشاورزی می‌تواند در کاهش زیان‌های محیط‌زیستی ناشی از کشاورزی نقش به‌سزایی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت بهینه، انتشار گازهای گلخانه‌ای، انرژی خورشیدی، انرژی فسیلی، شهرستان بابل

مقدمه

اهمیت روزافزون منابع انرژی در شکل‌گیری و رشد فرآیندهای اقتصادی و همچنین ضرورت بهره‌برداری از این منابع برپایه ملاحظه های محیط‌زیستی و توسعه پایدار اقتصادی، موضوع صرفه‌جویی در مصرف انرژی را به‌عنوان مسأله‌ای مهم در همه زیر ساخت‌های اقتصاد اعم از صنعت، خدمات و کشاورزی جهان مطرح می‌کند (Omrani, 2013). استفاده بهینه از منابع انرژی یک روش ممکن برای کاهش زیان‌های محیط‌زیستی در تولید مواد غذایی محسوب می‌شود که صرفه جویی مالی، حفظ منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا را به ارمغان می‌آورد (Pormohamad *et al.*, 2008). گرم شدن کره زمین، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، تغییرات آب وهوایی و باران‌های اسیدی نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد. طی چند دهه گذشته محیط

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، استادیار و استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: (Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir

https://doi.org/10.22067/jead.2023.77437.1145

زیست و حفاظت از آن از مهمترین مسئله‌ای است که جوامع با آن روبرو می‌باشند (Safaee *et al*., 2019).

بخش کشاورزی نیز به‌دلیل وسعت زیاد در ایران و جهان، یکی از مهم‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی می‌باشد (Sharifimoghadam *et al*., 2014). با توجه به گسترش مکانیزاسیون در سال‌های اخیر و گسترش برداشت آب زیرزمینی، بخش کشاورزی اثرات جبران ناپذیری را به انرژی کشور وارد کرده است. برای برقرای تولیدی پایدار در بخش کشاورزی و دستیابی به غذای مناسب، لازم است که اصلاحاتی در تامین نوع انرژی موردنیاز بخش کشاورزی و میزان به‌کارگیری انرژی صورت گیرد (Baghrian *et al*., 2007). به‌همین دلیل، در سال‌های اخیر کشورهای مختلف اعم از پیشرفته و درحال توسعه، جهت کاهش وابستگی به یک حامل انرژی، کاهش آلودگی محیطزیستی و دستیابی به پایداری انرژی، توجه فزاینده‌ای به انرژی تجدیدپذیر داشته‌اند. انرژی تجدیدپذیر عبارت است از هر نوع منبع انرژی که بدون آنکه مخزن تأمین‌کننده آن رو به زوال رود، مورد استفاده قرار گیرد که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از انرژی خورشیدی مشتق می‌گردند. انرژی نو شامل انرژی خورشیدی، باد، بیومس، زمین گرمایی و انرژی آبی می-باشد. از مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌توان به عدم تولید گازهای آلاینده، قطع وابستگی به سایر کشورها، استهلاک کم و عمر زیاد، عدم نیاز به متخصص بعد از نصب و فرصت توسعه تکنولوژی‌های پایدار اشاره کرد (Faryadi, 2004). در این بین انرژی خورشیدی، باد و آبی بیش از سایر انرژی‌های نو مورد توجه قرار گرفته است. زیرا دریافتی انرژی خورشیدی، بادی و آبی در ایران بالا و تکنولوژی استفاده از آن نیز موجود می‌باشد، به‌طوری که می‌توان بسیاری از نیازهای کشور را با استفاده از آفتاب و آب تامین کرد (Sharifi *et al*., 2012). جهت عملیاتی نمودن مناسب مدیریت مصرف انرژی در بخش کشاورزی، تعیین الگوی بهینه مصرف انرژی و الگوی بهینه کشت به عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارها می‌باشد. در این راستا، مدل‌سازی الگوی کشتی که بتواند بطور همزمان به مدیریت مصرف انرژی، کاهش آلودگی محیطزیست، حداکثرسازی بازده زارعین توجه نماید، یکی از مهم‌ترین تصمیمات پیش‌روی کشاورزان خواهد بود. ایران نیز به عنوان کشوری که به سمت توسعه گام بر می‌دارد با عمل به این مهم می‌تواند با مشکلات و محدودیت‌ها آسانتر مقابله کند (Karamoz *et al*., 2006).

در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مطالعات فراوانی انجام گرفته است، الهامی و همکاران (Elhami *et al*., 2015) بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس آبی استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها[1] مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد مقادیر کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط واقعی و بهینه در یک هکتار زمین زراعی، به‌ترتیب، ۹۳۰/۴۵و ۸۸۲/۱۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن (۵ درصد) کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای محاسبه شدند. نهاده‌های الکتریسیته و سوخت دیزل به‌ترتیب ۳۷ درصد و ۳۲ درصد از کل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به‌خود اختصاص دادند. صادقی و همکاران (Sadeghi *et al*., 2017) از مبنای الگوی خود رگرسیون ساختاری[2] برای تحلیل تأثیر افزایش سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید انرژی الکتریسیته بر روی تولید ناخالص داخلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن است که بروز شوکی مثبت در مصرف انرژی تجدیدپذیر، منجر به افزایش رشد اقتصادی و کاهش انتشار CO_2می‌شود. همچنین در این پژوهش توصیه شده است که سهم این نوع انرژی از کل انرژی تولیدی کشور افزایش یابد. میرزایی و همکاران (Mirzaie *et al*., 2017) با هدف حداکثرسازی میزان سود خالص کشاورزان با استفاده از الگوریتم ژنتیک به تعیین الگوی کشت بهینه در شبکه آبیاری سد گلستان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد الگوی کشت فعلی منطقه بهینه نبوده و در صورت استفاده از الگوی کشت پیشنهادی در این تحقیق میزان سود در کشت پاییزه و تابستانه، به ازای هر هکتار زمین به‌ترتیب ۴۷ و ۵۷ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش یافته است. پرورش‌ریزی و اشرف‌زاده (Parvareshrizi and Ashrafzadeh, 2018) جهت تحلیل هزینه‌های دوره عمر در سامانه های پمپاژ خورشیدی و دیزلی در مورد محصول انگور در منطقه کاشمر به طراحی و انتخاب پمپ آب کشاورزی در یک سیستم فتوولتائیک[3] با توجه به شرایط بومی پرداختند. طبق نتایج، پمپ خورشیدی در این طرح آبیاری می‌تواند فقط برای توان کمتر از ۴/۵ وات با پمپ دیزلی رقابت کند، مگر اینکه یارانه متعلق به سوخت دیزل کاهش یابد. تقی نژاد و همکاران (Taghinazhad *et al*., 2019) مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های مصرفی برای تولید گندم آبی در استان اردبیل مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد کل انتشار CH_4, N_2o و CO_2 از مزرعه‌های گندم آبی به ترتیب ۵۱۷/۱۴، ۱/۶۵ و ۱۲۷۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. سود خالص حاصل از تولید گندم آبی نیز ۲۳۶۹۱۲۹۹ ریال بود که نشان دهنده توجیه اقتصادی تولید گندم آبی در استان اردبیل بود. خوش نواز (Khoshnavaz, 2019) به منظور حداکثر نمودن سود و حفظ منابع آب، الگوی کشت شبکه آبیاری میان‌آب دشت شوشتر را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد کاربرد برنامه بهینه موجب کاهش سالانه ۷ میلیون متر مکعب در تخصیص آب و افزایش بیش از پنج میلیارد تومان در سود خالص کل الگوی دشت میگردد. تحلیل فازی سیستم توسعه

1- Data Envelopment Analysis
2- Structural Vector Autoregressive
3- photovoltaic

داده شده نشان داد با کاهش ۲۵ درصدی آبیاری بهینه، بهره وری اقتصادی آب حداقل ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. یوسفی و همکاران (Yousefi *et al.*, 2020) به بررسی الگوهای مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع چغندرقند روستای حسین آباد شهرستان شیروان، پرداخته‌اند. نتایج نشان داد، که انرژی ورودی و خروجی مزارع چغندرقند به‌ترتیب ۶۶۸۷۹/۵۲ و۱۳۱۵۷۱/۵۰ مگاژول در هکتار است. میزان انتشار گازهای CO_2، N_2O و CH_4 به‌ترتیب ۲۱/۲۴۶۳،۱۰/۰۴ و ۳/۲۶ کیلوگرم در هکتار بود و میزان پتانسلی گرمایش جهانی این گازها ۹۰۴۸ معادل کیلوگرم CO_2 محاسبه گردید.

از مطالعات خارجی، بارتزاس و کمنیتســاس (Bartzas and Komnitsas, 2018) با هدف ارزیابی عملکرد انرژی تولید پسته آبی در یونان از نظر تقاضــای انرژی بر اســاس این نتایج، افزایش ۱۰ در صدی انرژی مصرفی از کودهای معدنی و ما شین آلات کشاورزی به‌ترتیب منجر به افزایش ۳/۸ درصــدی و ۲/۴ درصــدی در عملکرد پسته خواهد شد. در حالی‌که افزایش ۱۰ درصدی نیروی کار انسانی و سوخت دیزل منجر به کاهش تولید به‌ترتیب ۰/۹ در صد و ۰/۴ در صد می شود. نیروی انسانی و سوخت دیزل نشان می‌دهد تلاش بیشتر انسان و مصرف سوخت دیزل منجر به کاهش عملکرد پسته می‌شود. آلام و همکاران (Alam *et al.*, 2019) بررسی میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای در اثر تغییر تولید شالی غرقابی به نشاء غیرپوکه‌ای پرداختند. ارزیابی نتایج نشان داد انتشار گازهای گلخانه‌ای ۳۱ درصد در مقایسه با نشــاء غرقابی فعلی کاهش خواهد یافت. همچنین صــرف‌نظر از شیوه‌های استقرار شالی، CH_4 شایع‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای بود که ۶۳ تا ۶۷ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌شود. مدینا و همکاران (Medina *et al.*, 2020) با اســتفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه با هدف عملکرد بهینه ســیســتم‌های آب، انرژی و غذا و کاهش انتشار برای جوامع کشاورزی مکزیک که از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر برای تولید محصــولات غذایی و انرژی اســتفاده می کنند مورد بررســی قرار دادند. نتایج حاکی از بهبود قابل قبولی در ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی با حفظ شاخص اقتصادی می‌باشد. آداما و همکاران (Adama *et al.*, 2020) به‌منظور تخصیص بهینه آب برای به حداکثر رســاندن بهره‌وری و افزایش تولید محصــول با اســتفاده از الگوریتم ژنتیک به تعیین الگوی بهینه کشت پرداختند. نتایج نشان داد الگوی کشت پیشنهادی دارای عملکرد بالاتری نسبت به شرایط فعلی می‌باشــد. همچنین میزان مصــرف آب از ۵/۱ به ۴/۹۶ کاهش یافته است. بررسی پیشینه پژوهش نشان داد تحقیقات در زمینه‌ی مصرف انرژی در کشاورزی ایران و تعیین الگوی بهینه کشت بصورت مجزا و گسترده انجام شده است، اما می‌توان اشاره کرد که برطبق بررسی مطالعات انجام شده، تحقیقی که در آن بر بهینه سازی مصرف انرژی، (با اســتفاده از افزایش ســهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ســبد مصــرف انرژی)، و تأثیر آن بر الگوی بهینه کشــت در ایران با لحاظ اهداف اقتصــادی و محیطزیســتی تاکیدشــده باشــد، صــورت نگرفته اســت. بنابراین هدف اصلی در این مطالعه بهینه‌سازی همزمان انرژی مصرفی (کاهش اثرات گلخانه‌ای) و حداکثرسازی سود حاصل از فروش، تولید بهینه محصــولات در منطقه بیشــه جنوبی شــهرســتان بابل می‌باشــد. عمده محصــولات زراعی این منطقه شــامل شــالی طارم و شــیرودی، گندم، سویا، سبزیجات و ذرت می‌باشد. بیش از ۸۰ درصد کشت غالب اراضی محدوده مطالعاتی، شالی می‌باشد. سایر محصولات کشاورزی نسبت به شالیکاری در صد سطح زیرکشت پایینی دارند (Slami *et al.*, 2018). با توجه به فاصله زیاد اراضی زراعی از برق شهری، بخش قابل ملاحظه‌ای از موتور پمپ‌ها، از ســوخت فســیلی جهت تامین آب کشــاورزی اســتفاده می‌کنند. همچنین به لحاظ قیمت بالای انرژی فســیلی (بنزین)، کمبود حامل‌های انرژی (نفت) در منطقه و شــرایط مناســب جایگزینی و اســتفاده از انرژی تجدیدپذیر همچون انرژی خورشــیدی (به لحاظ اینکه فصــل کشــت و تولید زراعت محصــولات انتخابی در فصــل گرم ســال با تعداد روزهای آفتابی بالا اســت) در زراعت منطقه می‌توانند از جمله ملزومات و اهمیت بهبود مدیریت مصــرف انرژی در منطقه مذکور و مدیریت تولید محصــولات باشــد (Agriculture Jahad of babol city, 2021). شهرستان بابل یکی از مناطق عمده تولید شــالی در اســتان مازندران با متوســط ســطح زیرکشــت حدود ۴۵۷۹۸ هکتار می‌باشــد، که شــالی در آن به‌صــورت نشاکاری و تحت آبیاری غرقابی کشت می شود. محصولات ذرت و سویا به لحاظ پایداری کشاورزی منطقه، امنیت غذایی، مشکلات کمتر به‌لحاظ مصرف آب، می‌توانند جایگزین مناسبی برای محصول شالی باشند. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه جزو مناطق مستعد کشور در تولید این محصولات می‌باشد، توسعه سطح کشت این محصولات می‌تواننــد بــه‌عنوان راهکــاری تعیین کننــده در نظر گرفتــه شــود (Agriculture Jahad of babol city, 2021).

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر جهت مدیریت پایدار منابع انرژی، و دستیابی به راه‌حل توافقی پایداری اقتصادی و محیطزیستی، الگوی برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه[1] طراحی شد و در آن، الگوی کشت بهینه زراعی در منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل با در نظر گرفتن حداکثر سود حاصل از فروش محصولات زراعی با تکیه برگسترش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در سبد انرژی مصرفی تأمین آب آبیاری و کاهش مصرف انرژی فسیلی مورد استفاده در تأمین آب آبیاری، تعیین شد. توابع هدف

1- Multi-objective programming

مطالعه در قالب دو هدف حداکثر سازی سود (F_{profit}) و حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای ($-F_{Greenhouse\ Gas}$) می‌باشد که در روابط ۱ تا ۴ ارائه شده است (Medina *et al*, 2020).

$$max\{F_{\text{profit}}, (-F_{Greenhouse\ Gas})\} \quad (۱)$$

هدف اول : حداکثر سازی سود

با توجه به توضیحات ارائه شده، یکی از اهداف مطالعه حاضر حداکثر سازی سود می‌باشد، که مقدار آن از تفاوت درآمد (حاصل از تولید محصولات زراعی) و کل هزینه‌ها (شامل هزینه آبیاری، کاشت و برداشت، هزینه بذر، کودها و سموم دفع آفات و هزینه نیروی کار) بدست خواهد آمد. که در روابط ۲ و ۳ به نمایش درآمده است (Medina *et al.*, 2020).

$$\max F_{\text{profit}} = TR^{crops} - C^{Energy} - C^{Water} - C^{product} \quad (۲)$$

در رابطه ۲، F_{profit} مقدار حداکثر سود، TR^{crops} درآمد حاصل از فروش محصولات، C^{Energy} هزینه فن‌آوری‌های تولید برق، C^{Water} هزینه سیستم پمپاژ آب و $C^{product}$ هزینه کاشت محصولات زراعی را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است در رابطه شماره ۲، فن‌آوری‌های تولید برق شامل تکنولوژی‌های فتوولتائیک و موتورهای دیزلی (سیستم فسیلی) در سیستم آبیاری مزارع می‌باشد. سیستم فتوولتائیک شامل سه بخش پنل‌های خورشیدی، باتری و اینورتر[1] جهت تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به برق مورد استفاده در سیستم آبیاری می‌باشد (Medina *et al.*, 2020).

$$\begin{aligned}\max F_{\text{profit}} &= \sum_{t=1}^{T}\frac{1}{(1+r)^t}\Bigg\{\Bigg(\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}(A_i.Y_i).P_{i,t}\Bigg) \\ &- \Bigg(\sum_{t=1}^{T}\Big(\big([\omega^{PV}.C^{PV}] + [k_t^{v,PV}.P^{PV}] \\ &+ [\omega^{BS}.C^{BS}] + [k_t^{v,BS}.P^{BS}] + [\omega^{INV}.C^{INV}] \\ &+ [k_t^{v,INV}.P^{INV}]\big)\Big) \\ &+ \Big([\omega^{DG}.C^{DG}] + [k_t^{v,DG}.P^{DG}] \\ &+ \Big[\frac{PF_t^{DG}.P^{DG}}{\eta_{DG}}\Big]\Big) \\ &+ \big([\omega^{PS}.C^{PS}] + [k_t^{v,PS}.P^{PS}]\big)\Bigg) \\ &- \Bigg(\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}A_i.C_{i,t}^{product}\Bigg)\Bigg\}\end{aligned} \quad (۳)$$

در رابطه ۳، Y_i عملکرد محصول i، A_i سطح کشت محصول i و $P_{i,t}$ قیمت محصول i در زمان t می‌باشد. $\omega^{PV}, \omega^{BS}, \omega^{INV}, \omega^{DG}, \omega^{PS}$ هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری برای سیستم‌های خورشیدی، باتری، اینورتر، سیستم فسیلی و سیستم پمپ آبیاری می‌باشد. $k_t^{v,PV}, k_t^{v,BS}, k_t^{v,INV}, k_t^{v,DG}, k_t^{v,PS}$ به‌ترتیب هزینه‌های متغیر تعمیر و نگهداری برای سیستم‌های خورشیدی، باتری، اینورتر، سیستم فسیلی و پمپ آبیاری در زمان t می‌باشد. $C^{PV}, C^{DG}, C^{BS}, C^{INV}, C^{PS}$ ظرفیت تولید انرژی در تکنولوژی خورشیدی، فسیلی، باتری، اینورتر و سیستم پمپ می‌باشد. $P^{PV}, P^{DG}, P^{BS}, P^{INV}, , P^{PS}$ میزان تولید انرژی در تکنولوژی خورشیدی، فسیلی، باتری، اینورتر و میزان مصرف سیستم پمپ می‌باشد. PF_t^{DG} و η_{DG} ضریب عملکرد سیستم فسیلی در زمان t و میزان راندمان سیستم فسیلی می‌باشند. و در نهایت $C_{i,t}^{product}$ هزینه کاشت هرمحصول i (شالی طارم، شالی شیرودی، سویا و ذرت)، در زمان t (در این مطالعه ده ساله در نظر گرفته شد) می‌باشد. جهت تعیین یک تابع هدف مناسب از نظر اقتصادی، لازم است تمامی هزینه‌ها و درآمدها با لحاظ نرخ بهره و نرخ تورم یکسان‌سازی شوند، تا قابلیت جمع جبری با یکدیگر را داشته باشند. لذا در این مطالعه همه هزینه‌ها و درآمدها بر حسب ارزش فعلی محاسبه شدند. نرخ بهره استفاده شده در پژوهش حاضر با استفاده از نرخ بهره اسمی سالانه و نرخ تورم سالانه تعیین شد که اثرات گذشت زمان بر روی هزینه‌ها و درآمد جاری را با حذف و توجه به روابط مربوطه به سال پایه تنزیل داده شد (Saidi *et al.*, 2012). که در رابطه ۴، l نرخ بهره اسمی سالانه (درصد) و f نرخ تورم سالانه (درصد) می‌باشد.

$$r = \frac{l-f}{1+f} \quad (۴)$$

هدف دوم: حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای

دومین هدف موردنظر مطالعه حاضر حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. جهت تامین این هدف، از ضرایب گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در نتیجه مصرف نهاده‌های سوخت فسیلی، کود و سموم شیمیایی استفاده شد.که با ضرب مقادیر هر یک از نهاده‌های مصرفی ذکر شده در ضرایب انتشار مربوط به آن نهاده در هر هکتار محاسبه گردید (ضرایب انتشار از مطالعات مختلف استخراج شدند Elhami *et al*,. 2015). گازهای گلخانه‌ای مورد نظر در این مطالعه شامل CO_2، N_2O و CH_4 می‌باشند. ضرایب انتشار هر یک از نهاده‌ها در جدول ۱، نشان داده شده‌اند.

لازم به توضیح است که بار انتشار CO_2 توسط فعالیت‌های کشاورزی، از طریق استفاده از کود، سموم دفع آفات، ماشین‌آلات

1- Inverter

کشاورزی و آبیاری حاصل می‌شود. بار انتشار N_2O عمدتاً از طریق استفاده از کود و بار انتشار CH_4 عمدتاً از شالیزار حاصل می‌گردد (Taghinazhad *et al.*, 2019). که در این مطالعه به حداقل‌رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 ناشی از مصرف سوخت فسیلی، کود و سموم شیمیایی و روغن مورد استفاده در موتور پمپ کشاورزی، همچنین انتشار گاز N_2O ناشی از مصرف کود شیمیایی و CH_4 منتشر شده از زمین‌های کشت شالی مدنظر قرار گرفته است. حداقل سازی میزان انتشار می‌تواند به‌صورت روابط ۵ تا ۸ بیان شود (Yue *et al.*, 2020).

جدول ۱- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی

Table 1- Greenhouse gas emission coefficients of agricultural inputs

نهاده (واحد) Inputs	ضریب انتشار گلخانه‌ای Greenhouse gas emission (kg CO_2eq unit^{-1})	مرجع Reference
کود نیتروژن (کیلوگرم) Nitrogen Fertilizers	1.3	(Lai, 2004)
کود فسفات (کیلوگرم) Phosphorus Fertilizers	0.2	(Lai, 2004)
کود پتاسیم (کیلوگرم) Potassium Fertilizers	0.2	(Lai, 2004)
سوخت (لیتر) Fuel	2.76	(Dyer and Desjardins, 2003)
روغن (لیتر) Oil	0.071	(Dyer and Desjardins, 2003)
سموم شیمیایی (لیتر) Chemical poisons	5.1	(Lai, 2004)

$$\min F_{Greenhouse\ Gas} = GE^{CO_2} + GE^{N_2O} + GE^{CH_4} \quad (۵)$$

$$GE^{CO_2} = \sum_{i=1}^{I} A_i\left((\varepsilon_{DG}.P^{DG}) + (\varepsilon_{oil}.OIL_{mh}) + (\varepsilon_{FT}.FT_i) + (\varepsilon_{PE}.PE_i)\right) \quad (۶)$$

$$GE^{N_2O} = \sum_{i=1}^{I} A_i.FT_i.\vartheta_{FT} \quad (۷)$$

$$GE^{CH_4} = \sum_{i=1}^{2} A_i.\sigma^{CH_4} \quad (۸)$$

در رابطه ۵، GE^{CO_2}، GE^{N_2O}، GE^{CH_4} به‌ترتیب میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2، N_2O و CH_4 می‌باشد. ε_{DG} ، ε_{oil}، ε_{FT}، ε_{PE}، به‌ترتیب میزان انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 ناشی از مصرف سوخت فسیلی و مصرف روغن در ماشین‌آلات مزارع و ناشی از مصرف کود شیمیایی و مصرف سموم شیمیایی در سطح مزارع می‌باشند. مقادیر P^{DG}، OIL_{mh}، FT_i، PE_i، به‌ترتیب میزان مصرف انرژی فسیلی، روغن مورد استفاده ماشین‌آلات در زمین‌های زراعی، کود مورد استفاده در زمین‌های زراعی برای محصول i و سم مورد استفاده در زمین‌های زراعی برای هر محصول i می‌باشند. ϑ_{FT} و σ^{CH_4} ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای N_2O ناشی از مصرف کود شیمیایی در سطح مزارع و بار انتشار CH_4 در سطح شالیزاری می‌باشد.

محدودیت‌های مدل نیز شامل انرژی، جریان انرژی، آب، کود، سرمایه و زمین می‌باشند که در ادامه معرفی خواهند شد.

محدودیت انرژی

$$P^{PS} \leq (1 - EL)[P^{PV} + P^{DG} + P^{BS}] \quad (۹)$$

لازم به ذکر است که رابطه ۹، محدودیت مربوط به تأمین انرژی الکتریکی موردنیاز سیستم آب‌رسانی (پمپ) می‌باشد که باید توسط فن آوری‌های پنل خورشیدی و سیستم فسیلی، با در نظر گرفتن میزان انرژی ذخیره شده در باتری تأمین شود. لذا مجموع خالص انرژی تولیدی در سیستم خورشیدی، فسیلی و ذخیره در باتری با در نظر گرفتن $(1 - EL)$ تلفات انتقال انرژی (ناشی از سیستم کابل‌کشی) باید از میزان انرژی موردنیاز سیستم آب‌رسانی بیشتر باشد (Medina *et al.*, 2020).

محدودیت جریان انرژی

$$P^{PV} \leq C^{PV}.PY^{PV} \quad (۱۰)$$

$$PF^{PV} = CF_{PV}.h \quad (۱۱)$$

$$P^{DG} \leq C^{DG}.PY^{DG} \quad (۱۲)$$

$$PF^{DG} = CF_{DG}.h \quad (۱۳)$$

که PY، CF و h به‌ترتیب برابر ضریب عملکرد، ضریب ظرفیت تکنولوژی تولید انرژی (پنل فتوولتائیک و سیستم فسیلی) و زمان کارکرد فن‌آوری‌های مذکور جهت تولید برق سالانه می‌باشند. روابط (۱۰) و (۱۲)، محدودیت‌های مربوط به‌میزان تولید انرژی به‌ترتیب از

فن‌آوری‌های تولید انرژی پنل فتوولتائیک و سیستم فسیلی می‌باشد که قسمت چپ روابط مذکور بیانگر حداکثر تولید انرژی عملیاتی است. هر فن‌آوری تولید انرژی دارای یک ظرفیت اسمی (عدد ثبت‌شده در پلاک نصبی تجهیز) است که در حالت عملیاتی درصدی از این ظرفیت بالفعل شده و قابل عملیاتی‌شدن است و این درصد با توجه به ضریب عملکرد آن تعیین می‌شود. روابط (۱۱) و (۱۳) نیز مربوط به محدودیت تعیین میزان ضریب عملکرد فن‌آوری‌های تولید انرژی به‌ترتیب پنل فتوولتائیک و سیستم فسیلی می‌باشد که با توجه به ظرفیت اسمی و زمان عملکرد هر فن‌آوری تعیین می‌شود (Medina *et al.*, 2020).

محدودیت آب

$$\sum_{i=1}^{I} Wa_i . A_i \leq Wa_{TOT} \quad (۱۴)$$

که در رابطه۱۴، Wa_i نیاز آبی محصول i و Wa_{TOT}میزان کل آب مورد نیاز می‌باشد.

محدودیت کود

$$\sum_{i=1}^{I} FT_i . A_i \leq [FTT]_{TOT} \quad (۱۵)$$

در رابطه ۱۵، FT_i مقدار کود موردنیاز برای یک هکتار محصول iام و $[FTT]_{TOT}$ کل کود موجود می‌باشند (Yue *et al.*, 2020).

محدودیت سرمایه

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} Ca_{i,t} . A_i \leq Ca_{TOT} \quad (۱۶)$$

در رابطه ۱۶، $Ca_{i,t}$ مقدار سرمایه موردنیاز برای کشت یک هکتار محصول iام در زمانt ام و Ca_{TOT} کل سرمایه موجود می‌باشد. منظور از سرمایه، کل هزینه‌های نهاده‌های به‌کار گرفته‌شده که شامل هزینه‌های کود، نیروی‌کار، ماشین‌آلات، سموم شیمیایی، آب و سایر نهاده‌های موردنیاز برای کشت هر محصول را نشان خواهد داد (Yue *et al.*, 2020).

محدودیت زمین

$$\sum_{i=1}^{I} A_i \leq A_{TOT} \quad (۱۷)$$

که در رابطه مذکور، A_{TOT} و A_i به‌ترتیب میزان سطح کل کشت محصولات کشاورزی و میزان سطح کشت محصول iام می‌باشد (Yue *et al.*, 2020).

بطور خلاصه چارچوب کلی در این مطالعه، مدل چندهدفه با توابع هدف حداکثرسازی سود و حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای (ناشی از مصرف کود و سموم شیمیایی و مصرف سوخت فسیلی) مشروط به محدودیت‌های انرژی، جریان انرژی، آب، کود، سرمایه و زمین، با استفاده از روش اپسیلون محدودیت حل خواهد شد. متغیرهای تصمیم مطالعه شامل متغیر ظرفیت تولید برای انرژی‌های فسیلی، خورشیدی پنل، خورشیدی باتری و خورشیدی اینورتر، ظرفیت تولید انرژی سیستم پمپ، میزان تولید برای انرژی‌های سوخت فسیلی، خورشیدی پنل، خورشیدی باتری، خورشیدی اینورتر، سیستم پمپ و سطح زیرکشت محصولات تخصیص داده شده می‌باشند که در قالب مجموعه جواب‌ها بدست خواهد آمد. با حل این مدل، ۱۰ نقطه بهینه پارتو به دست خواهد آمد. که با استفاده از روش چندمعیاره تاپسیس و براساس شاخص انرژی که در ادامه توضیحات آن ارائه شده است، جواب بهینه انتخاب خواهد شد.

روش اپسیلون محدودیت[1] به کارگرفته شده در مطالعه حاضر، به‌عنوان یکی از روش‌های کارآمد برای حل مسائل چندهدفه مطرح است و کارایی بالاتری نسبت به روش‌های سنتی همچون روش وزنی دارد. با توجه به اینکه در این روش، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های پارتو ایجاد می‌شود، از این‌رو سیاست‌گزاران می‌توانند در انتخاب بهترین راه‌حل، آزادی عمل بیشتری داشته باشند (Radmehr *et al.*, 2020). در این روش، برای حل مدل، لازم است با انتقال تمامی توابع هدف به جز یکی از اهداف به بخش محدودیت‌ها، اقدام به حل مدل نمود. سرانجام با توجه به مجموعه جواب‌های پارتو به‌دست‌آمده از روش حل مدل چندهدفه و با استفاده از شاخص‌های پایداری انرژی جهت دستیابی به راه حلی که بتواند مدیریت پایدار منابع انرژی منطقه را به خوبی نتیجه دهد تصمیم‌گیری نهایی انجام خواهد شد. بر اساس یافته‌های ال گافی (۲۰۱۷)، شاخص‌های پیوند انرژی (E) به‌عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی مدیریت پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد. ازاینرو، در این پژوهش، شاخص مصرف انرژی، شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی انرژی، بهره‌وری فیزیکی انرژی و بهره‌وری زیست‌محیطی انرژی مورداستفاده قرار گرفت (Radmehr *et al.*, 2020).

شاخص مصرف انرژی[2]: این شاخص کل انرژی مصرف‌شده را نشان می‌دهد. واحد این شاخص کیلووات ساعت می‌باشد. علامت قطبیت این شاخص منفی می‌باشد (هرچه کمتر باشد، بهتر است) (Radmehr *et al.*, 2020).

1- Epsilon Constraint Method

2- Energy Consumption

شاخص بهره‌وری اقتصادی انرژی[1]: این شاخص مقدار منفعت اقتصادی به‌دست‌آمده به ازای یک واحد انرژی مصرف شده را نشان خواهد داد. واحد این شاخص ریال به کیلووات ساعت است. علامت قطبیت این شاخص مثبت می‌باشد (هرچه بیشتر باشد، بهتر است) (Radmehr *et al.*, 2020).

شاخص بهره‌وری فیزیکی انرژی[2]: این شاخص مقدار تولید حاصل شده به یک واحد انرژی مصرف‌شده را نشان می‌دهد. واحد این شاخص کیلوگرم به کیلووات ساعت می‌باشد. علامت قطبیت این شاخص مثبت می‌باشد (هرچه بیشتر باشد، در تصمیم‌گیری بهتر است) (Radmehr *et al.*, 2020).

شاخص بهره‌وری محیط‌زیستی[3]: این شاخص مقدار تولید حاصل شده به انتشار گاز گلخانه‌ای را نشان خواهد داد. واحد این شاخص کیلوگرم به تن CO_2 می‌باشد. علامت قطبیت این شاخص مثبت می‌باشد (هرچه بیشتر باشد، در تصمیم‌گیری بهتر است) (Radmehr *et al.*, 2020).

در ادامه از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس[4] برای انتخاب بهترین جواب از میان مجموعه پارتو بر اساس شاخص‌های پیوند انرژی استفاده خواهد شد. این راه‌حل در هفت مرحله اصلی انجام می‌شود (Radmehr *et al.*, 2021):

- ✓ ساختن ماتریس تصمیم
- ✓ محاسبه ماتریس نرمال‌شده ماتریس تصمیم
- ✓ محاسبه ماتریس وزنی نرمال‌شده
- ✓ معرفی گزینه‌های ایده‌آل مثبت (A+) و ایده‌آل منفی (A−)
- ✓ محاسبه فاصله هر درایه از هر یک از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی
- ✓ محاسبه یک شاخص Ci برای محاسبه بهترین راه‌حل از میان راه‌حل‌های موجود
- ✓ رتبه‌بندی راه‌حل‌ها

راه‌حلی که بالاترین ارزش Ci را داشته باشد، به‌عنوان بهترین راه‌حل انتخاب می‌شود.

جامعه آماری موردنظر در این مطالعه، زارعین منطقه بیشه جنوبی شهرستان بابل می‌باشند. داده‌های مربوط به بخش زراعی پژوهش حاضر از جمله سرمایه، زمین، آب، کود و..... از طریق اداره جهاد کشاورزی منطقه، در سال ۱۴۰۰ به صورت خام جمع‌آوری شد. اطلاعات فنی و اقتصادی نیز به‌صورت عمده از مراجع معتبر داخلی همانند دفتر برنامه‌ریزی جامع انرژی وزارت نیرو، برنامه‌ریزی کلان انرژی کشور در قسمت حامل‌های انرژی وزارت نفت، برنامه جامع انرژی‌های تجدیدپذیر کشور (سازمان ساتبا)، دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا و آمارهای بین‌المللی انرژی در سال ۱۴۰۰ تأمین شد. همچنین جهت برآورد نتایج مدل چندهدفه با روش اپسیلون محدودیت، از نرم‌افزار Matlab و برای برآورد نتایج بخش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس از نرم افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس مطالب از پیش ارائه شده در این مطالعه برای تعیین الگوی بهینه کشت و سبد بهینه مصرف انرژی از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه استفاده شده است، که در گام نخست، مجموعه‌ی نقاط بهینه پارتو (ماتریس تاوان[5])، با لحاظ دو هدف حداکثرسازی منافع اقتصادی و حداقل‌سازی انتشار محاسبه گردید. برای محاسبه راه‌حل‌های پارتو، در ابتدا حداقل و حداکثر مقادیر توابع هدف اقتصادی و محیط‌زیستی محاسبه شدند که در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

در ادامه، با بکارگیری روش اپسیلون محدودیت[6] الگوی چندهدفه حل و نقاط پارتو تعیین شد (منافع اقتصادی حاصل از کشت محصولات به‌عنوان هدف مطالعه و تابع محیط‌زیستی به‌عنوان یک محدودیت با مقادیر سمت راست اپسیلون لحاظ شده است). دامنه بین دو مقدار حداکثر و حداقل تابع هدف محیط‌زیستی در جدول ۲ برای بدست آوردن ارزش‌های اپسیلون، به ده نقطه تقسیم شده است. الگوی بهینه با هدف حداکثرسازی منافع اقتصادی با در نظر گرفتن مقادیر مختلف ارزش اپسیلون، حل شده و نقاط پارتو به دست آمده است. ماتریس Pay-off بین دو هدف اقتصادی و محیط‌زیستی در جدول ۳ ارائه شد. راه‌حل‌های A1و A10 به‌ترتیب نشان‌دهنده حداقل انتشار گازهای گلخانه‌ای و حداکثر سود اقتصادی می‌باشد.

نتیجه مهمی که می‌توان از جدول ۳، به‌دست آورد این است که میزان خسارت محیط‌زیستی با افزایش منافع اقتصادی افزایش می‌یابد. این نتیجه با مطالعه کل استد (۱۹۹۳) مبنی بر اینکه رشد اقتصادی مستلزم استفاده بیشتر از منابع طبیعی و انرژی به‌ویژه سوخت‌های فسیلی که آن هم به‌نوبه خود تخریب محیط‌زیست را به‌دنبال دارد، همسو می‌باشد.

با توجه به اینکه اهداف مطالعه حاضر، همسو با یکدیگر نیستند، بنابراین برای انتخاب بهترین جواب از میان راه‌حل‌های پارتو از روش رتبه‌بندی چند معیاره TOPSIS استفاده شد. در تشریح گام‌های روش حل تاپسیس بیان شد که در قدم اول یک ماتریس تصمیم برای n گزینه و m معیار بنا می‌شود (n نشان دهنده تعداد شاخص‌ها و m راه حل‌های پارتو می‌باشد). در این مطالعه از شاخص‌های پیوند انرژی

1- Economic Energy Productivity
2- Physical Energy Productivity
3- Environmental Productivity
4- Multi-criteria decision making of TOPSIS
5- Pay-off Matrix
6- Epsilon Constraint Method

شامل ۴ شاخص: مصرف انرژی (ENG)، بهره‌وری اقتصادی انرژی (ECOEP)، بهره‌وری فیزیکی انرژی (PHEP) و بهره‌وری محیط زیستی (EN)، برای راه‌حل‌های ده‌گانه پارتو استفاده گردید، و ماتریس تصمیم تشکیل شد. جدول ۴، مقدار هریک از شاخص‌های انرژی را در هر یک از راه‌حل‌های پارتو نشان می‌دهد که مجموع این شاخص‌ها ماتریس تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین راه‌حل را ارائه می‌دهد.

جدول ۲- حداکثر و حداقل اهداف اقتصادی و محیطزیستی

Table 2- Pay-off matrix of economic and environmental goals for each solution

	هدف اقتصادی (میلیون ریال) Economic goal (million Rials)	هدف محیطزیستی (کیلوگرم CO_2) Environmental purpose (kg CO_2)
حداکثر مقدار Maximum amount	559. 68	1608
حداقل مقدار Minimum amount	529. 19	1419

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۳- ماتریس Pay-off هدف اقتصادی و محیطزیستی به ازای هر راه‌حل

Table 3- Pay-off matrix of economic and environmental goals for each solution

راه‌حل Solution	هدف اقتصادی Economic goal (million Rials)	هدف محیطزیست Environmental purpose (kg CO_2)
A_1	529. 19	1419
A_2	532. 80	1440
A_3	538. 41	1461
A_4	540. 02	1482
A_5	543. 63	1503
A_6	545. 23	1524
A_7	548. 85	1545
A_8	552. 46	1566
A_9	556. 07	1587
A_{10}	559. 68	1608

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ٤- ماتریس تصمیم شاخص‌های نقاط پارتو

Table 4- Indicator decision matrix Pareto points

راه‌حل Solution	بهره‌وری محیطزیستی Environmental productivity (kg/kg CO_2)	بهره‌وری فیزیکی انرژی Physical energy productivity (kg/kWh)	بهره‌وری اقتصادی انرژی Economic energy productivity (Rials/kWh)	مصرف انرژی Energy consumption (kwh)
A_1	3.83	2.57	2.51E+05	2110
A_2	3.94	2.62	2.50E+05	2133
A_3	4.00	2.67	2.49E+05	2157
A_4	4.06	2.72	2.48E+05	2180
A_5	4.11	2.76	2.47E+05	2204
A_6	4.16	2.81	2.45E+05	2227
A_7	4.21	2.85	2.44E+05	2251
A_8	4.26	2.89	2.43E+05	2274
A_9	4.31	2.94	2.42E+05	2298
A_{10}	4.36	2.98	2.41E+05	2321

مأخذ:یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

در گام دوم روش تاپسیس جهت نرمال‌سازی شاخص‌های موجود در ماتریس تصمیم هر یک از مقادیر بر اندازه بردار مربوط به همان شاخص تقسیم شده، که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. در گام سوم، وزن‌دهی به ماتریس نرمال شده انجام و مجموعه وزن‌ها در ماتریس نرمالایز شده ضرب شده است. لازم به توضیح است که در مطالعه حاضر، اهمیت یکسان به دو هدف کاهش انتشار گازهای

گلخانه‌ای (صرفه‌جویی در مصرف انرژی فسیلی) و افزایش سود در تصمیم‌گیری، وزن یکسانی معادل با ۲۵ درصد برای هر یک از معیارها در نظر گرفته شده است.

در گام بعدی راه‌حل‌های ایده‌آل و غیرایده‌آل برای هریک از شاخص‌ها محاسبه شده است. و در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها که در جدول ۵ مقدار شاخص Ci را نشان می‌دهد. هرچه مقدار این شاخص بالاتر باشد، راه‌حل پارتو موردنظر دارای رتبه بالاتری بر اساس پیوند انرژی است.

جدول ۵- ماتریس تصمیم نرمال برای نقاط پارتو

Table 5- Normal decision matrix for Pareto points

راه‌حل Solution	بهره‌وری محیطزیستی Environmental productivity (kg / kg CO_2)	بهره‌وری فیزیکی انرژی Physical energy productivity (kg/kWh)	بهره‌وری اقتصادی انرژی Economic energy productivity (Rials/kWh)	مصرف انرژی Energy consumption (kwh)
A_1	0.293	0.292	0.322	0.301
A_2	0.302	0.297	0.321	0.304
A_3	0.306	0.303	0.319	0.3071
A_4	0.310	0.308	0.318	0.311
A_5	0.314	0.313	0.317	0.314
A_6	0.318	0.318	0.314	0.317
A_7	0.322	0.323	0.313	0.321
A_8	0.326	0.328	0.312	0.324
A_9	0.330	0.333	0.311	0.327
A_{10}	0.333	0.338	0.310	0.331

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ٦- رتبه‌بندی راه‌حل‌ها

Table 6- Ranking of solutions

راه‌حل Solutions	رتبه Ranking	C_i
A_1	2	0.58
A_2	4	0.50
A_3	1	0.59
A_4	3	0.54
A_5	5	0.43
A_6	6	0.36
A_7	7	0.31
A_8	10	0.27
A_9	9	0.28
A_{10}	8	0.29

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

بر اساس نتایج جدول ۶، راه‌حل هشتم A3 دارای بالاترین مقدار در مقایسه با سایر راه‌حل‌ها می‌باشد، زیرا کمترین فاصله با راه‌حل ایده آل و بیشترین فاصله را از نامناسبترین گزینه داشته است. ازاین‌رو، راه‌حل A3 به‌عنوان بهترین راه‌حل از بین ده راه‌حل پارتو بر اساس شاخص پیوند انرژی انتخاب می‌شود. نتیجه نهایی مدل بهینه در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر جدول ۷ قابل مشاهده است.

همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، در شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر (شرایط فعلی)، از میان محصولات مورد مطالعه، شالی شیرودی بیش‌ترین سهم را در الگوی کشت جاری به‌خود اختصاص داد. که علت آن می‌تواند به‌دلیل همواره فراهم‌بودن بازار خرید و فروش این رقم و عملکرد بالای این محصول نسبت به سایر ارقام باشد. با توجه به اینکه در سال جاری قیمت آن با رقم مرغوب اختلاف زیادی نداشته و کشاورز همواره به‌دنبال حداکثر سود می‌باشد، انگیزه برای کشت این رقم افزایش یافته است (بدون توجه به آسیب‌های محیطزیستی به‌دلیل سنتی‌بودن شیوه تولید شالی در منطقه). همچنین، شالی طارم به‌دلیل کیفیت بیشتر این نوع شالی و مصرف خانگی این محصول، رتبه بعدی در کشت محصولات را به‌خود اختصاص داد.

جدول ۷- سبد مصرف انرژی و الگوی بهینه محصولات
Table 7- Energy consumption basket and optimal product pattern

راه‌حلA8 Solution A8	محصولات Products	الگوی فعلی در شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر The current pattern in the absence of recyclable energy	الگوی بهینه در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر Optimal pattern in terms of renewable energy	درصد تغییرات Percentage of changes
سطح زیرکشت Area under cultivation	شالی طارم (h) Tarom rice (h)	0.41	0.44	
	شالی شیرودی (h) Shiroodi rice (h)	0.48	0.30	
	سویا (h) Soybean (h)	0.05	0.16	
	ذرت (h) Corn (h)	0.05	0.10	
	ظرفیت تولید انرژی خورشیدی پنل (kw) Solar panel production capacity (kw)	0	0.83	
	میزان تولید انرژی خورشیدی پنل(kwh) Solar panel production rate (kwh)	0	500	
	ظرفیت تولید انرژی خورشیدی باتری (kw) Battery solar power generation capacity (kw)	0	1.32	
	میزان تولید انرژی خورشیدی باتری (kwh) Battery solar power generation (kwh)	0	300	
	ظرفیت تولید انرژی خورشیدی اینورتر (kw) Inverter solar power generation capacity (kw)	0	0.60	
	میزان تولید انرژی خورشیدی اینورت ر(kwh) Inverter solar energy production rate (kwh)	0	466	
	ظرفیت تولید انرژی فسیلی (kw) Fossil energy production capacity (kw)	1.5	1.08	
	میزان تولید انرژی سوخت فسیلی (kwh) Fossil fuel energy production (kwh)	3159	2190	

	ظرفیت مصرف انرژی سیستم پمپ (kw) Pump system power consumption capacity (kw)	0.57	0.50	
	میزان مصرف انرژی سیستم پمپ (kwh) Pump system energy consumption (kwh)	2812	2394	
هدف حداکثر سود Maximum profit goal (million rials)		536.49	538.41	+0.35
هدف حداقل انتشار گازهای گلخانه ای کیلوگرم (CO_2) Minimum greenhouse gas emissions goal (kg CO_2)		1790	1461	-18

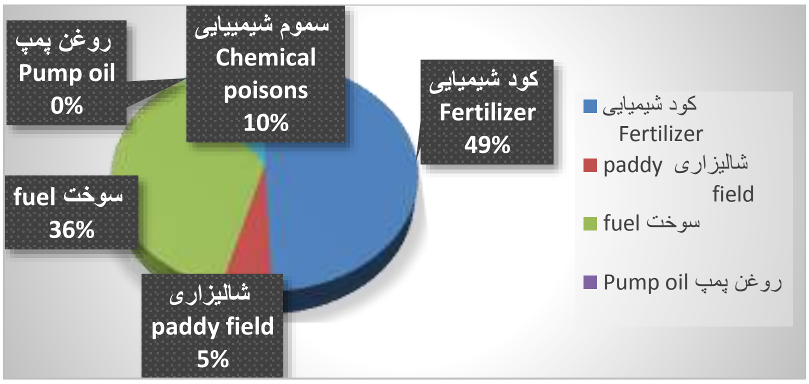
مأخذ:یافته‌های تحقیق
Source: Research findings

ذرت و سویا با سطح کشت ۰/۰۵ و ۰/۰۵ هکتار رتبه بعدی را به‌خود اختصاص دادند (باقی محصولات که سطح کشت ناچیزی داشتند و محصولاتی که بصورت دیم کشت می‌شوند، از مطالعه حذف شدند). نتیجه دیگری که می‌توان از بررسی وضعیت فعلی منطقه به‌دست آورد این است که کشت محصولات در این منطقه متکی بر انرژی تجدیدناپذیر می‌باشد، که می‌تواند در صورت مدیریت ناصحیح، محیط‌زیست منطقه را تهدید کند. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت انرژی در این منطقه می‌باشد.

با توجه به اینکه در مطالعه حاضر تعیین الگوی کشت بهینه با تاکید بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش سود موردبررسی قرار گرفت، مدل در وضعیت لحاظ انرژی تجدیدپذیر، پیشنهاد می‌کند که چهار نوع محصول شالی طارم، شالی شیرودی، سویا، و ذرت به‌ترتیب با سطح کشت ۰/۴۴، ۰/۳۰، ۰/۱۶ و۱ /۰ در هکتار کشت شوند همان طور که مشاهده می‌شود مطابق با خروجی‌های مدل بهینه با لحاظ انرژی تجدیدپذیر، بخش عمده زمین‌های تحت کشت، به شالی رقم طارم و شیرودی اختصاص می‌یابد. کاهش سطح کشت رقم شیرودی بیشتر از کاهش سطح کشت شالی طارم است. شالی شیرودی جزء ارقام پرمحصول می‌باشد، که به پمپاژ آب و کود بیشتر نیاز دارد، بنابراین وقتی مدل حداکثرسازی سود و کاهش انتشار گاز حاصل سوخت فسیلی و کود مدنظر باشد، طبیعی است که سطح کشت شیرودی بیشتر از سطح کشت رقم طارم کاهش یابد. اما به دلیل اینکه در پمپاژ آب آبیاری، انرژی خورشیدی جایگزین سوخت فسیلی شده است، درصد کاهش سطح کشت رقم شیرودی نسبت به رقم طارم چندان چشمگیر نیست و به نوعی مدل علاوه بر حفاظت انتشار گازهای گلخانه‌ای، سودآوری زارعین منطقه را نیز مورد توجه قرار داده است. با مشاهده شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر وضعیت فعلی، شالی طارم و شیرودی بیشترین میزان کشت را به‌خود اختصاص دادند، این در حالی است که این ارقام مصرف انرژی (جهت برداشت آب زیرزمینی) بالاتری نسبت به محصولات سویا و ذرت دارند. ولی از آنجا که کشاورزان منطقه چندسالی است که به‌دلیل بالابودن نسبی سود این رقم نسبت به سایر محصولات، این محصول را به‌عنوان رقم غالب در الگوی کشت خود منظور نمودند، لذا مسلماً کشاورزان به‌دلیل ماهیت ریسک‌گریزی که دارند، اگر بخواهند در راستای کاهش مصرف انرژی قدمی بردارند، در درجه‌ی اول به درآمد گذشته‌ی خود می‌نگرند و رقمی را انتخاب می‌کنند که منافعی همانند گذشته حاصل کند. لذا باقی‌ماندن این محصولات در الگوی کشت حتی با وجود تأکید بر کاهش مصرف انرژی، منطقی به‌نظر می‌رسد. لذا، مدل در جهت بهینه نمودن جواب نهایی سعی بر حداکثرسازی سطح کشت محصول طارم و شیرودی داشته است.

با توجه به تابع سود (رابطه ۳) یکی از متغییرهای تصمیم، کل انرژی موردنیاز سیستم پمپ بوده است، که در الگوی بهینه در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر برابر ۲۶۹۰ کیلووات ساعت به‌دست آمد است. از ۲۶۹۰ کیلووات ساعت انرژی بدست آمده، ۸۲ درصد آن را انرژی فسیلی و ۱۸ درصدآن را، انرژی خورشیدی به¬خود اختصاص دادند. طبق محاسبات انجام شده در رابطه ۳، برای تأمین ۱۸ درصد (۵۰۰ کیلووات ساعت) برق خورشیدی موردنیاز سیستم آبیاری به¬منظور آبیاری یک هکتار، الگوی پیشنهادی مدل بهینه در منطقه مورد مطالعه، پنل خورشیدی با ظرفیت ۰/۸۳کیلووات موردنیاز خواهد بود. ۵۰۰ کیلووات ساعت انرژی تولیدی توسط پنل در مواقع استفاده از پمپ مستقیماً مصرف می‌گردد، و در شرایطی که پمپ خاموش باشد توسط باتری‌ای با ظرفیت ۱/۳۲ کیلووات ذخیره می‌شود، و در مواقع لزوم (با فرض راندمان ۶۰ درصدی باتری)، ۳۰۰ کیلووات ساعت انرژی به سیستم پمپ منتقل می‌کند. با توجه به نتایج در شرایط بهینه برای

آبیاری ۰/۴۴ هکتار شالی طارم، ۰/۳۰ هکتار شیرودی، ۰/۱۶ هکتار سویا و ۰/۱ هکتار ذرت به پمپی با قدرت موتور حدود۲/۳ کیلووات ساعت با ترکیب ۸۲ درصد انرژی فسیلی و ۱۸ درصد انرژی خورشیدی نیاز خواهد بود. با توجه به اینکه یکی از اهداف مطالعه حداکثرسازی سود می‌باشد، نتایج مدل در وضعیت لحاظ انرژی تجدیدپذیر نشان می دهد،که با اجرای الگوی پیشنهادی سود زارعین منطقه به‌ازای هر هکتار از ۵۳۶/۴۹ به ۵۳۸/۴۱ میلیون ریال نسبت به وضعیت عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر در کل فصل زراعی، افزایش می‌یابد. یعنی در شرایط فعلی، افراد بدون توجه به‌میزان مصرف انرژی و هزینه‌های تولید، محصولات را کشت می‌کنند (سنتی‌بودن شیوه تولید شالی توسط کشاورزان منطقه) در صورتی‌که با انتخاب الگوی درست، می‌توان منافع اقتصادی کشاورز را ۰/۳۵درصد افزایش داد و همزمان میزان قابل‌توجهی در مصرف انرژی فسیلی صرفه‌جویی کرد. با توجه به اینکه هدف دوم مطالعه کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مدل بهینه می‌باشد، در شکل ۱ به تفکیک منابع ایجادکننده آلودگی نشان داده شد.



شکل ۱- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر به تفکیک نهاده‌ها

Figure 1- Emission rate of greenhouse gases in terms of renewable energy by input

نتایج مطالعه نشان داد که به‌ازای کشت ۰/۴۴ هکتار شالی طارم، ۰/۳۰ هکتار شیرودی، ۰/۱۶ هکتار سویا و ۰/۱ هکتار ذرت، به‌میزان ۱۴۶۱ کیلوگرم معادل CO_2 آلودگی ناشی از مصرف کود، سموم و مصرف سوخت فسیلی منتشر خواهد شد، که نسبت به حالت فعلی در شرایطی که تنها از سوخت فسیلی جهت آبیاری محصولات استفاده می‌کنند ۱۸ درصد کاهش یافته است. در این حالت هر دو هدف یعنی افزایش سود و کاهش انتشار نسبت به شرایط فعلی تامین خواهد شد که نشان‌دهنده برتری مدل پیشنهادی می‌باشد. سهم هریک از نهاده های ورودی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در شکل ۱ قابل مشاهده است. سهم هر یک از نهاده‌ها از طریق ضرب مقدار نهاده‌های مصرفی در ضریب‌های انتشار مربوط به نهاده‌ها و سطح کشت محصولات به دست آمد. در بین فعالیت‌های مختلف، مصرف کود با میانگین ۷۲۰ کیلوگرم CO_2 در هکتار معادل ۴۹ درصد، بیشترین مقدار را از نظر انتشار دی‌اکسید کربن به‌خود اختصاص داد. در واقع به¬ازای کشت ۰/۴۴ هکتار شالی طارم، ۰/۳۰ هکتار شیرودی، ۰/۱۶ هکتار سویا و ۰/۱ هکتار ذرت، با مصرف مقدار مشخصی کود، ۷۲۰ کیلوگرم CO_2 در هکتار منتشر خواهد شد. سوخت مصرفی برای پمپاژ آب آبیاری با میانگین ۵۳۱ کیلوگرم CO_2 در هکتار معادل ۳۶ درصد از کل انتشار، در رتبه دوم انتشار دی‌اکسیدکربن قرار گرفت. سموم شیمیایی و زمین های شالیزاری به‌ترتیب با میانگین۱۳۷ کیلوگرم و ۷۲ کیلوگرم CO_2 در هکتار معادل ۱۰ درصد و ۵ درصد در جایگاه بعدی قرار گرفتند. نهایتا روغن مورد استفاده پمپ کشاورزی با انتشار نزدیک یک کیلوگرم در رتبه آخر قرار گرفته است.

با توجه به نتایج مدل بهینه (در راستای دستیابی به هدف کاهش انتشار) در مطالعه که کاهش ۱۸ درصدی سهم انرژی فسیلی در سبد مصرف انرژی مورد نیاز پمپاژ آب آبیاری را به‌همراه داشته است، الگوی کشت بهینه نیز به‌صورت ۷ درصد افزایش سطح کشت طارم، ۳۷ درصد کاهش سطح کشت شیرودی، افزایش ۲۲۰ درصد سطح کشت سویا و افزایش ۱۰۰ درصدی کشت ذرت و کاهش ۱۸ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر تغییر یافت. در واقع، با کاهش سطح کشت ارقام شالی (با توجه به سنتی بودن شیوه تولید شالی و مصرف بالای نهاده‌های تولید) و سوق‌دادن سطح کشت به‌سمت محصولات سویا و ذرت، از میزان انتشار کاسته و در نتیجه منطقه را از شرایط بحرانی انتشار خارج کرد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این بخش، انتخاب الگوی پیشنهادی از نظر اقتصادی و محیط-زیستی مقرون به‌صرفه و در راستای توسعه پایدار است.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر سعی شد منافع کشاورزان با در نظر گرفتن حداکثر سود زراعی با تکیه بر استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در سبد

انرژی‌های مصرفی بخش کشاورزی (با کاهش میزان مصرف سوخت منابع انرژی فسیلی مورد استفاده)، در قالب تعیین الگوی کشت بهینه محاسبه و با شرایط فعلی مقایسه خواهد شد. نتایج نشان داد الگوی بهینه در شرایط لحاظ انرژی تجدیدپذیر، نسبت به شرایط عدم لحاظ انرژی تجدیدپذیر، برتری نسبی در دستیابی به اهداف موردنظر مطالعه دارد، که با نتایج مطالعه کالتساس و همکاران (Kaltsas *et al*,. 2007) مبنی بر بیشتربودن مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی در نظام کاشت ارگانیک نسبت به نظام کاشت رایج، مطابقت دارد. همچنین، مشاهده شد که در حالت بهینه، رقم طارم بیشترین سطح کشت را به‌خود اختصاص داده که این امر می‌تواند سود بیشتر و آلایندگی کمتر این محصول در مقایسه با سایر محصولات را نتیجه دهد. با توجه به نتایج الگوی چندهدفه، پیشنهاد می‌شود رقم طارم بیشترین سطح کشت را به‌خود اختصاص دهد و کشاورزان منطقه بهتر است با توجه به میزان منابع در اختیارشان، این محصول را جایگزین دیگر ارقام نمایند. نتایج این مطالعه با نتیجه‌ی اندک مطالعات مشابه انجام شده، مطابقت دارد. به‌عنوان مثال نتیجه مطالعه پرورش ریزی و اشرف زاده (Parvareshrizi and Ashrafzadeh, 2018) با هدف تحلیل فنی– اقتصادی آبیاری خورشیدی (مقایسه با منابع متداول انرژی در آبیاری)، نشان داد شرایط فعلی بهینه نبوده است و استفاده از ترکیب انرژی فسیلی و خورشیدی علاوه بر افزایش سود مقدار انتشار را کاهش می دهد. هدف کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای نیز در وضعیت استفاده از انرژی تجدیدپذیر ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین با مطالعه دایر و دسجردینز (Dayer and Desjardins, 2003) مبنی بر کاهش در میزان مصرف سوخت‌های فسیلی باعث تقلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، مطالبقت دارد. در بخش دیگر نتایج میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۴۶۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار به‌دست آمد، که با مطالعه دستان و همکاران (Dastan *et al*,. 2013) مبنی بر متوسط انتشار ناشی از تولید شالی را برابر ۲۳۰۷ کیلوگرم CO_2 در هکتار محاسبه نمودند، همسو می‌باشد. همچنین، عامل اصلی ایجادکننده انتشار گازهای گلخانه‌ای در این پژوهش مربوط به کود و سپس سوخت فسیلی می‌باشد،که با مطالعه سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2013)، در بررسی خود به این نتیجه دست یافتند که سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی به‌ترتیب با ۴۵/۸ و ۲۲/۵ درصد باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند، هم راستا می‌باشد.

بدیهی است پایان‌پذیری منابع فسیلی انرژی و ضرورت افزایش ارزش منابع خورشیدی و تبدیل آن به مواد با ارزش افزوده بالا ضرورت استفاده از این منابع انرژی در تأمین برق موردنیاز بخش‌های کشاورزی بالاخص در مواردی که نیازها فصلی بوده و بیشتر به فصل‌های آفتابی سال محدود می‌شود، محرز می‌نماید. به‌همین منظور، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گزاران کشاورزی از طریق ترویج استفاده انرژی خورشیدی در آبیاری و استفاده از این ظرفیت بزرگ در کشور، توجیه کشاورزان نسبت به مزایای بالقوه انرژی خورشیدی (در بخش کشاورزی) و استفاده وسیع از آن، کاهش یارانه‌های فعلی کشاورزی در بخش انرژی فسیلی و تعلق یارانه به انرژی خورشیدی، تشویق بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های خورشیدی به تأمین انرژی طرح‌های آبیاری کمک نمایند.

منابع

1. Adama, G., Jimoh, D., & Otache, M. (2020), Optimization of irrigation water allocation framework based on genetic algorithm approach. *Journal of Water Resource and Protection*, *12*, 316-329.
2. Agriculture Jahad of babol city, (2021). https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.124019
3. Alam, M., Bell, R., & Biswas, W. (2019), Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, *224*, 72-87. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.215
4. Ameri, M., Magdsabeti, A., & Norozi, M. (2005). *Economic feasibility study of using solar pumps in Kerman province"*. 13th Annual Conference on Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology. (In Persian)
5. Bartzas, G., & Komnitsas, K. (2018). Energy flow analysis in agriculture; the case of irrigated pistachio production in Greece. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *2*, 73-80. https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.06.007
6. Baghrian, A., Saleh, A., & Pikani, Gh. (2007). *Optimization of cultivation pattern in Kazerun region using linear programming method*. The sixth biennial conference of the Iranian Agricultural Economics Association. Mashhad. 8 and 9 November. (In Persian)
7. Dayer, J., & Desjardins, L. (2003). The impact of farm machinery management on the greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, *22*, 59-74. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_07
8. Dastan, S., Soltani, A., Noor Mohammadi, G.H., & Madani, H. (2013), Global warming potential of carbon dioxide emissions and energy consumption in the paddy planting. *Journal of Agricultural Ecology*, *6*(4), 823-835. (In Persian with English abstract)
9. El-Gafy, I. (2017). Water–food–energy nexus index: analysis of water–energy–food nexus of crop’s production system applying the indicators approach. *Applied Water Science, 7*(6), 2857-2868. https://doi.org/10.1007/s13201-017-0551-3
10. Elhami, B., Akram, A., & Khanali, M. (2015). Optimization of energy consumption and reduction of greenhouse gas

emissions in the production of blue lentils using data envelopment analysis method. *Iran Biosystem Engineering*, *47*(4), 701-710. (In Persian)
11. Faryadi, Sh. (2004). Proposing the principles and rules of sustainable urban design in the process of globalization. *Journal of Environmental Science*, 99. (In Persian)
12. Karamoz, M., Ahmadi, A., & Nazif, S. (2006). *Challenges and opportunities of applying models for optimal operation of water resources systems*. The first regional conference of exploiters of water resources in Karun and Zayandehrud basins, Shahrekord University. (In Persian)
13. Khoshaghlagh, R., Sharifi, A., & Kochakzade, M. (2005). Economic evaluation of solar energy use compared to diesel energy. *Iranian Journal of Economic Research, 7*(24), 171-192. (In Persian)
14. Khoshnavaz, S. (2019), Uncertainty analysis of water distribution planning in mian-ab irrigation network in shooshtar plain: application of genetic algorithm and simulated annealing. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 52*(1), 152-163. (In Persian). https://doi.org/10.22059/IJSWR.2019.281948.668217
15. Kaltsas, AM., Mamolos, AP., Tsatsarelis, CA., Nanos, GD., & Kalburtji, KL. (2007). Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 122*(2), 243-251. https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.017
16. Mirzaie, Sh., Zakerinia, M., Shahabifar, M., & Sharifan, H. (2017). Determining optimum cropping pattern using genetic algorithm (case study: Golestan dam irrigation and drainage network). *Irrigation Sciences and Engineering, 40*(3), 181-190. (In Persian) https://doi.org/10.22055/JISE.2017.13261
17. Medina, A., Flores, F., Cardenas, L., & Fuentes, L. (2020). Optimal design of the water-energy-food nexus for rural communities. *Computers and Chemical Engineering*, *143*, 107-120. https://doi.org/**10.3390/en15239045**
18. Omrani, A. (2013). Implementation of the cultivation model is an opportunity to address sustainable development and food security. Agricultural Jihad of Sari city. (In Persian)
19. Parvareshrizi, A., & Ashrafzadeh, A. (2018). Technical-economic analysis of solar irrigation: Comparison with Conventional Energy Sources in Irrigation. *Journal of Energy Policy and Planning Research*, *4*(11), 201-228. (In Persian)
20. Pormohamad, Y., Mosavibaigi, M., Alizadeh, A., & Ziay, A. (2017). Estimation of water productivity of major crops in Neishabour plain and optimization of crop area. *Journal of Water and Soil, 1*(31), 112-126. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JWSD.V8I1.88854
21. Radmehr, R., Ghorbani, M., & Ziaei, A.N. (2020). Quantifying and managing the water-energy-food nexus in dry regions food insecurity: New methods and evidence. *Agricultural Water Management*, 119. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106588
22. Sadeghi, K., Sojodi, S., & Ahmadzadh, F. (2017). The impact of renewable energy on economic growth and environmental quality in Iran". *Journal of Energy Policy and Planning Research*, *6*, 171-202. (In Persian)
23. Safaee, V., Davary, K., & Pourmohammad, Y. (2019). Necessity water, energy, and food nexs based on the strategic plan for sustainable development. *Journal of Water and Sustainable Development*, *6*(2), 9-14. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JWSD.V6I2.72591
24. Saidi, P., Mazhari, R., & Valian, H. (2012), Invekstigating the relationship between inflation rate and interest rate based on Fisher's theory in Iranian economy. *Journal of Financial Knowledge, Securities Analysis*, *5*(13), 83-97. (In Persian)
25. Sharifi, A., Kiani, Gh., Khoshakhlagh, R., & Bagheri, M. (2012), Evaluating the replacement of renewable energy instead of fossil fuels in Iran: An optimal control approach. *The Journal of Economic Modeling Research*, *11*, 123-140. (In Persian)
26. Sharifimoghadam, A., Sadeghi, H., Delavar, M., & Zarghami, M. (2014). *Water-food-energy Nexs in agricultural water resources management in Shazand watershed*. 14th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran. (In Persian)
27. Slami, G., Darzi, A., & Emadi, A. (2018). *Assessment of water resources and agricultural water consumption in Babol plain*. The Second National Conference on Science and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran.
28. Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2013). Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan. *50*, 54-61.
29. Taghinazhad, J., Vahedi, A., & Ranjbar, F. (2019). E assessment of energy consumption and greenhouse gas emissions from wheat ductionpro in Ardabil Provience. *Journal of Environmental Sciences*, *17*(3), 137-150. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/envs.17.3.137
30. Yousefi, Z., Vahedi, A., & Askari-Bozayeh, F. (2020). Energy consumption analysis and environmental impact evaluation of rice production by life cycle assessment (LCA) in Guilan province. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, *22*(78), 55-72. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/erams.2020.343427.1359
31. Yue, G., Zhang, F., Wang, Y., Zhang, X., & Guo, P. (2020). Fuzzy multi-objective modelling for managing water-food-energy-climate change-land nexus towards sustainability. *Journal of Hydrology*, 1-47.

https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125704